

УДК 520.6:524.354.6

АКТИВНОСТЬ МЯГКОГО ГАММА-РЕПИТЕРА SGR 1900+14 В 1998 г. ПО НАБЛЮДЕНИЯМ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ КОНУС-ВИНД. ГИГАНТСКАЯ ВСПЫШКА 27 АВГУСТА

© 1999 г. Е. П. Мазец¹, Т. Л. Клайн², Р. Л. Аптекарь¹, П. С. Баттерворт², С. В. Голенецкий¹,
В. Н. Ильинский¹, В. Д. Пальшин¹, Д. Д. Фредерикс¹

¹ Физико-технический институт РАН, Санкт-Петербург

² Годдардовский центр космических полетов НАСА, Гринбелт, США

Поступила в редакцию 20.05.99 г.

Рассматриваются результаты наблюдений 27 августа 1998 г. гигантской вспышки в SGR 1900+14. Проводится сопоставление двух сверхмощных событий 27 августа 1998 г. в SGR 1900+14 и 5 марта 1979 г. в SGR 0526–66. Поразительное сходство вспышек подчеркивает единство их природы. Появление двух гигантских вспышек в разных источниках в течение 20 лет свидетельствует, по всей вероятности, о том, что такие вспышки происходят в большинстве SGR, повторяясь каждые 50–100 лет.

ACTIVITY OF THE SOFT GAMMA REPEATER SGR 1900+14 IN 1998 FROM KONUS-WIND OBSERVATIONS. THE GIANT AUGUST 27 OUTBURST, by E.P. Mazets, T.L. Cline, R.L. Aptekar', P.S. Butterworth, S.V. Golenetskii, V.N. Il'inskii, V.D. Pal'shin, and D.D. Frederiks. Observations of the giant outburst in SGR 1900+14 on August 27, 1998, are presented. The two extremely intense events on August 27, 1998, and March 5, 1979, are compared. The striking similarity between the outbursts underlines their common nature. The occurrence of two giant outbursts in different sources within twenty years most likely suggests that such events occur in most SGRs once every 50–100 years.

ВВЕДЕНИЕ

Открытие источников мягких повторных всплесков началось с наблюдения знаменитого сверхмощного гамма-всплеска 5 марта 1979 г. (Мазец и др., 1979а). Уже на следующий день эксперимент Конус на станциях Венера-11 и Венера-12 зарегистрировал первый повторный всплеск, пришедший из этого же источника (Мазец и др., 1979а). В дальнейшем число зарегистрированных повторных всплесков возросло до 16 (Голенецкий и др., 1984). В конце марта 1979 г. в эксперименте Конус был открыт и локализован второй источник повторных гамма-всплесков В1900+14 (Мазец и др., 1979б), новое проявление активности которого рассматривается в настоящей статье.

В последующие годы повторные всплески из этих и вновь обнаруженных мягких гамма-репитеров (SGR) удавалось наблюдать в редкие периоды их реактивации. Но событие 5 марта 1979 г. до недавнего времени оставалось единственным. Соответственно, совершенно неясным оставался вопрос о том, насколько событие 5 марта 1979 г. характерно для активности мягких гамма-репитеров, являются ли такие события типичными и закономер-

ными для всех SGR или же эта гигантская вспышка была уникальным эпизодом в истории только одного объекта. Высказывались соображения как в пользу первой (Мазец и др., 1982), так и второй возможности (Норрис и др., 1991; Фенимор и др., 1996).

Однозначный ответ на этот вопрос был получен 27 августа 1998 г., когда несколько космических аппаратов зарегистрировали гигантскую вспышку в SGR 1900+14, поразительно похожую на вспышку 5 марта 1979 г. в SGR 0526–66 (Клайн и др., 1998; Орли и др., 1999а; Фероси и др., 1999).

В настоящей работе мы рассмотрим подробно результаты наблюдений вспышки 27 августа 1998 г. прибором Конус на спутнике Wind и сравним ее со вспышкой 5 марта 1979 г.

НАБЛЮДЕНИЯ

Мощнейшая вспышка 27 августа 1998 г. беспрецедентна по своей интенсивности. Пиковое значение потока жестких фотонов с энергией $E_\gamma > 15$ кэВ существенно превосходит величину, когда-либо наблюдавшуюся для любого из известных космических источников. Общий вид вре-

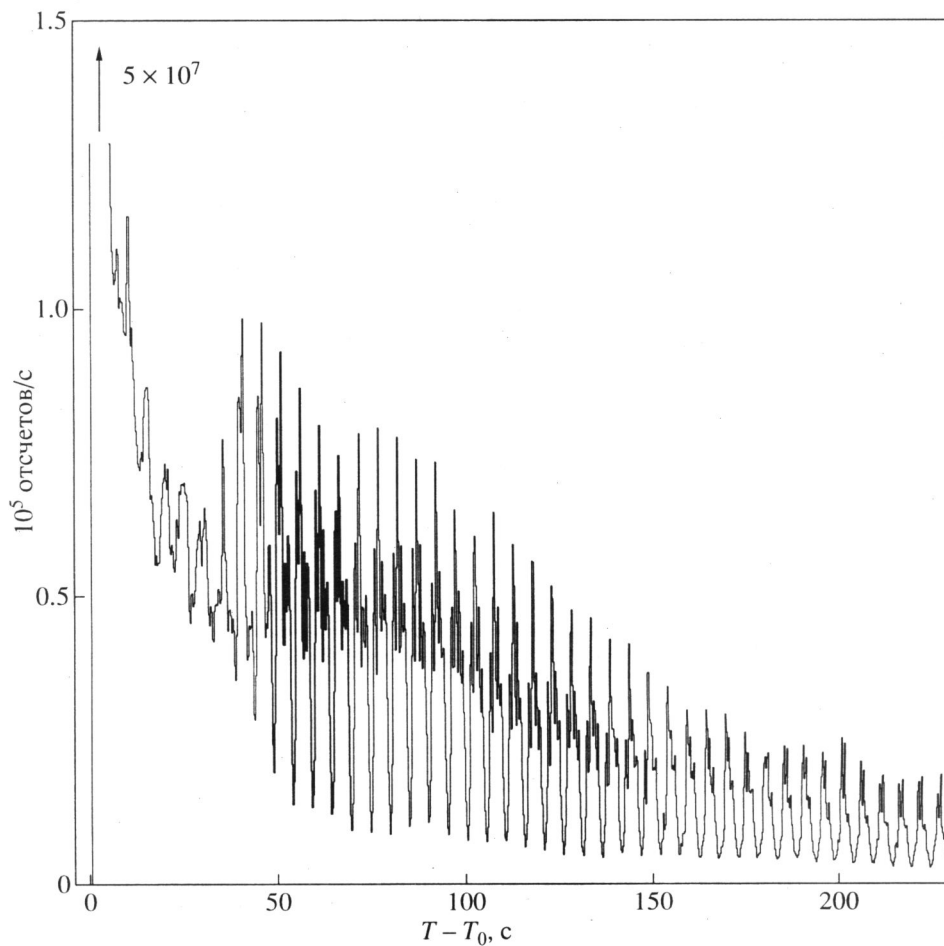


Рис. 1. Гигантская вспышка 27 августа 1998 г. Интенсивность излучения с $E_\gamma > 15$ кэВ.

менного профиля вспышки представлен на рис. 1. Как и в событии 5 марта 1979 г., вспышка начинается гигантским узким импульсом излучения, который быстро спадает и переходит в затянутый, медленно затухающий и когерентно пульсирующий “хвост”.

Рассмотрим подробно эти и другие характерные стадии события.

Начальный импульс и область $T - T_0 < 1$ с

Спектрометр космических гамма-всплесков Конус–Винд (Аптекарь и др., 1995) начинает программу подробных измерений с момента T_0 , соответствующего появлению триггерного сигнала об обнаружении всплеска. При этом с временным разрешением от 2 до 256 мс регистрируется временная история всплеска в трех энергетических интервалах G1(15–50 кэВ), G2(50–250 кэВ) и G3(250–1000 кэВ). Сохраняется также предыстория, т.е. некоторые результаты измерений, предшествовавших моменту T_0 . Триггерный сигнал вырабатывается во втором энергетическом окне

G2(50–250 кэВ) при быстром приращении скорости счета на ~ 7 стандартных отклонений. С момента T_0 начинаются также измерения многоканальных энергетических спектров с автоматической адаптацией времени накопления к текущей интенсивности.

На рис. 2 приведена запись начального участка профиля всплеска на интервале $T - T_0$ от -0.5 с до 1 с. В мягком окне G1 за 0.45 с до T_0 наблюдается слабый предшествующий. Из графика следует, что необходимое для выработки триггерного сигнала число дополнительных отсчетов накапливается всего за 4 мс, нарастание интенсивности происходит очень быстро. Еще через 4 мс регистрация отсчетов во всех окнах полностью прекращается. Это, несомненно, означает, что интенсивность излучения всего за 4 мс становится настолько высокой, что наступает полная перегрузка счетного тракта и прибор “захлебывается”.

Некоторое время прибор не дает ни одного отсчета, и только через ~ 200 мс он начинает “оживать”. Совершенно очевидно, что влияние мертвого времени и эффекты наложения импульсов в

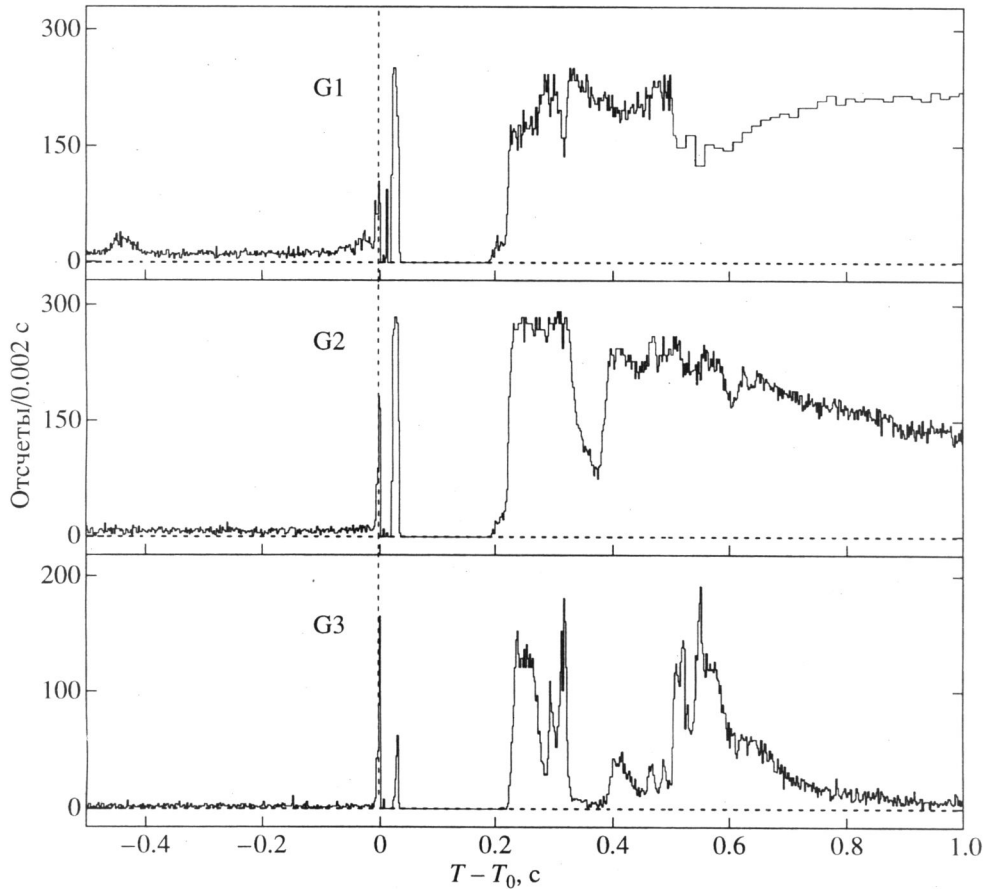


Рис. 2. Аппаратурная запись начальной фазы вспышки в трех энергетических окнах. Полная перегрузка детектора при $T - T_0 < 0.2$ с.

детекторе настолько сильно искажают реальную картину, что введение поправок в получаемые данные составляет серьезную проблему. Для ее решения были выполнены тщательные лабораторные исследования эффектов просчетов и наложения импульсов на запасном комплекте аппаратуры при входных потоках $10^6 - 10^7$ фотонов/с и более. Измерения проводились с помощью радиоактивных источников и рентгеновской установки, излучение которой позволяло достаточно удовлетворительно имитировать спадающие сплошные спектры. Параллельно было проведено численное моделирование отклика аппаратуры на интенсивные потоки излучения. Ввиду важности полученных данных для корректной оценки энергетики события необходимо остановиться кратко на технических деталях.

В обычных условиях для большинства устройств полный падающий на детектор поток фотонов N связан с регистрируемой скоростью счета n известным соотношением $\frac{1}{n} - \frac{1}{N} = \tau$, где τ — мертвое время прибора. При $N \gg 1/\tau$ n должно

стремиться к предельной величине $n = 1/\tau$, переставая зависеть от N . На рис. 3 в качестве примера представлены результаты как лабораторных измерений, так и численного моделирования скоростей счета в окнах G1, G2, G3 и их суммы в зависимости от входной загрузки для спектра в виде широкой линии с энергией ~ 100 кэВ. Из графиков следует, что стандартная зависимость $n(N)$ выполняется до значений $N \sim 10^6$, но с дальнейшим ростом потока N регистрируемое число отсчетов n начинает резко падать и стремиться к нулю. Такое поведение находит ясное объяснение. При высоких значениях N вследствие перекрытия отдельных импульсов в детекторе начинает формироваться и увеличиваться постоянная составляющая электрического сигнала. Регистрация отдельных фотонов начинает сменяться детектированием флуктуаций выходного сигнала, что приводит к сильнейшим искажениям измеряемого спектра. Так, скорость счета в жестком окне G3, показанная на рис. 3, полностью обусловлена эффектами наложения сцинтилляций в детекторе. При дальнейшем увеличении загрузки рост непрерывного флуктуирующего сигнала на вы-

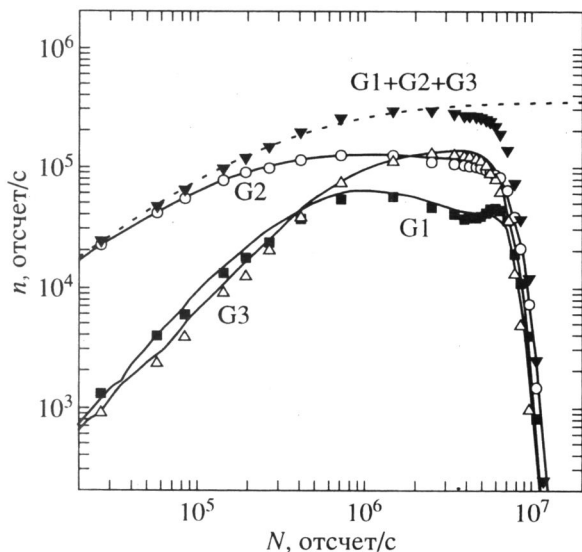


Рис. 3. Скорости счета в трех энергетических интервалах G1, G2, G3 в зависимости от загрузки (облучение широкой линией со средней энергией ~ 100 кэВ). Значки – лабораторные измерения. Сплошные кривые – численное моделирование. Штриховая линия – стандартная зависимость $n(N, \tau)$ для $\tau = 2.85 \times 10^{-6}$ с.

ходе усилительной схемы ограничивается величиной напряжения питания. При достижении такого уровня насыщения скорость регистрации отсчетов резко падает, и при превышении этого уровня регистрация полностью прекращается. При лабораторных исследованиях была также выяснена важная роль двух эффектов последствия, которые необходимо учитывать в моменты резкого изменения интенсивности вблизи уровня насыщения. Первый из них связан с высвечиванием долгоживущей компоненты фосфоресценции в кристалле NaI(Tl), приводящим к затягиванию задних фронтов во временном профиле. Второй эффект связан с инерционностью схемы стабилизации высокого напряжения для питания фотоумножителя. В результате, после больших скачков интенсивности вблизи насыщения усиление фотоумножителя в течение 30–40 мс может отклоняться от номинальной величины. Именно с этим аппаратным эффектом, который был воспроизведен в лаборатории, связано кратковременное появление отсчетов на интервале $T - T_0 = 20$ –30 мс.

Следует отметить хорошее согласие результатов численного моделирования зависимостей $n(N)$ с измерениями. Это обстоятельство является очень важным. Вид зависимостей $n(N)$ для трех энергетических окон G1, G2, G3 оказывается сильно чувствительным к форме энергетического спектра входного потока, следовательно сопоставление наблюдаемых значений n_1, n_2, n_3 дает возможность оценить достаточно уверенно не

только интенсивность входного потока, но и жесткость спектра. При лабораторных измерениях возможность выбора формы спектра была ограничена. Согласие результатов прямых измерений и моделирования позволяет уверенно применить моделирование зависимостей $n(N)$ для спектров любого вида.

Возвращаясь к событию 27 августа (рис. 1), мы можем заключить, что в первую секунду всплеска задача восстановления его профиля очень сложна, но может быть решена, за исключением моментов полного насыщения. Тем не менее, и на интервале $T - T_0 = 0$ –0.2 с могут быть получены предельные оценки. Отметим два важных момента. Во-первых, в течение нескольких миллисекунд предыстории ($T < T_0$) скорости счета еще не велики и не искажены. По их соотношению в трех энергетических окнах мы можем оценить жесткость спектра в самый начальный момент всплеска, которая оказывается весьма высокой и в предположении, что спектр имеет вид $dN/dE \propto E^{-1} \exp(-E/kT)$, соответствует величине $kT \sim 200$ кэВ. Во-вторых, вблизи от насыщения детектор начинает работать как калориметр. Постоянная составляющая выходного тока фотоумножителя пропорциональна средней освещенности фотокатода сцинтилляциями, т.е. полному выделению энергии в детекторе в единицу времени. При заданном коэффициенте усиления спектрометрического тракта величина выходного тока, соответствующая насыщению, известна. Численное моделирование позволяет учесть и флуктуации выходного тока фотоумножителя, уровень которых зависит от жесткости входного фотонного спектра, следовательно мы можем с хорошей точностью определить значение потока энергии на детектор, соответствующее полному прекращению отсчетов. Так, например, для входных фотонных спектров со значениями kT 30 и 300 кэВ он оказывается равным 2.4×10^{-2} и 3.1×10^{-2} эрг/см² с соответственно. Таким образом, нижний предел энергетического потока во вспышке в моменты полного насыщения оказывается достаточно надежно установленным.

Интересно отметить, что эффект полного насыщения детекторов в эксперименте Конус–Винд неоднократно наблюдался при регистрации так называемых имитаций всплесков, которые вызываются ядерными взаимодействиями ультрарелятивистских многозарядных ядер космических лучей с веществом кристалла NaI(Tl). Мгновенное выделение огромной энергии в кристалле сопровождается медленно спадающим высвечиванием долгоживущей компоненты фосфоресценции с постоянной времени $\tau \sim 100$ –150 мс (Коички и др., 1973). Флуктуации выходного тока фотоумножителя регистрируются как отдельные рентгеновские кванты. На рис. 4 дан пример не очень сильной имитации, наблюдавшейся 22 июля 1997 г. Из

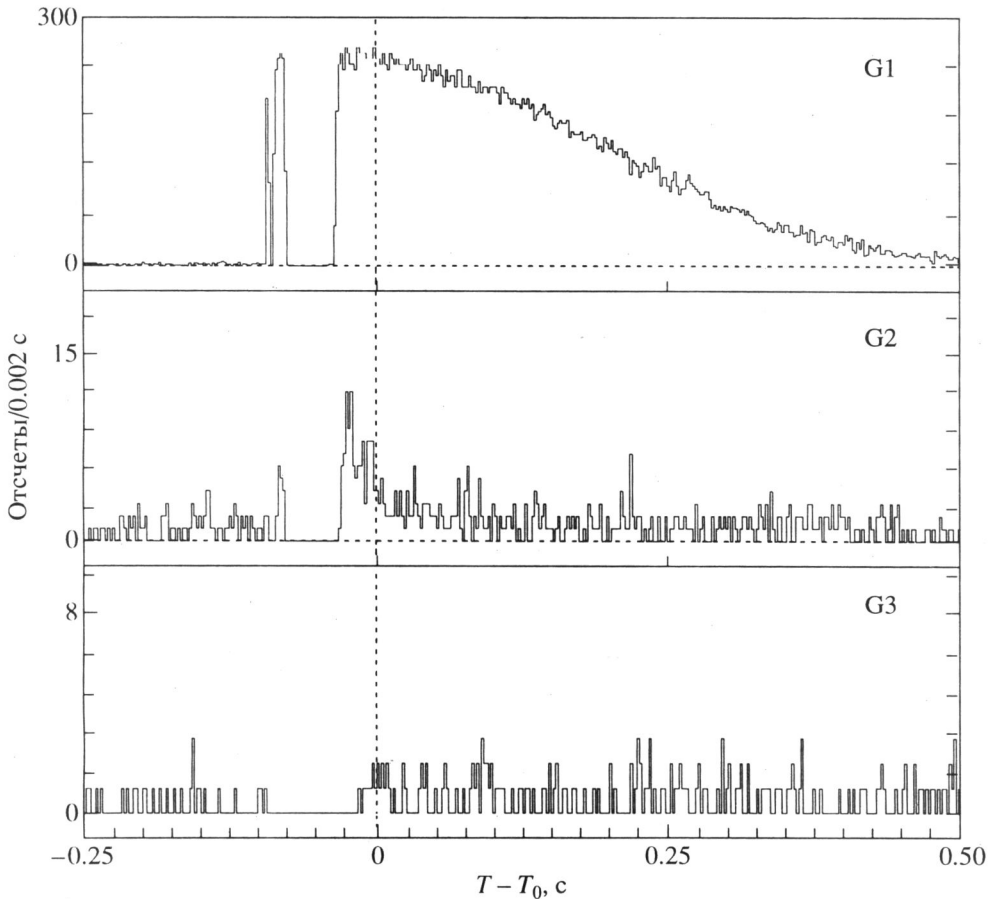


Рис. 4. Имитация короткого всплеска вследствие ядерного взаимодействия в сцинтиляторе NaI(Tl) с выделением огромной энергии $\sim 2.5 \times 10^3$ ГэВ. Характерные особенности перегрузки аналогичны перегрузке в начальной фазе события 27 августа.

приведенных графиков следует, что при попадании частицы выходной ток мгновенно перегружает усилитель. Затем, после снижения тока ниже уровня насыщения, в окне G1 наблюдается огромная скорость счета. Выбранный пример (ср. с рис. 2) содержит даже кратковременное появление отсчетов вследствие инерционности системы стабилизации питания ФЭУ. Принципиальное различие рис. 2 и рис. 4 заключено в совершенно разных уровнях скорости счета в жестких окнах G2 и G3. Оно определяется различиями в амплитуде и разбросе флуктуаций выходного тока, обусловленными тем, что в событии 27 августа эффект насыщения определяется наложением узких пачек сцинтилляций, вызванных жесткими гамма-квантами, а в имитации суммируется огромное множество малых сигналов, вызванных отдельными фотонами фосфоресценции.

На интервале $T - T_0 = 0.2 - 1$ с падающий на детектор поток фотонов остается еще очень высоким. Он претерпевает сильные и резкие вариации как интенсивности, так и спектрального состава. На этом участке были получены четыре спектра

сигналов от детектора при времени накопления 0.256 с. Для определения быстрых изменений интенсивности и жесткости такое усреднение оказывается слишком грубым. Тем не менее, из рис. 5 определенно следует, что в среднем жесткость излучения вспышки на интервале $T - T_0 = 0.512 - 0.768$ с существенно выше, чем в соседних временных интервалах.

Возможность восстановления исходных значений интенсивности и жесткости с высоким временным разрешением дает численное моделирование. Следует говорить именно о восстановлении, а не о введении поправок, поскольку измеренная и действительная интенсивности могут различаться в десятки раз. Процедура восстановления состоит, в сущности, в том, что для каждой тройки скоростей счета в трех окнах n_i (см. рис. 2) находится одна такая пара величин N и kT , для которой расчетные величины $n_i(N, kT)$ дают наилучшее согласие с измерениями. Под параметром kT здесь следует понимать характеристику принятой при расчетах формы энергетического спектра вспышки для данного момента времени. На практике ча-

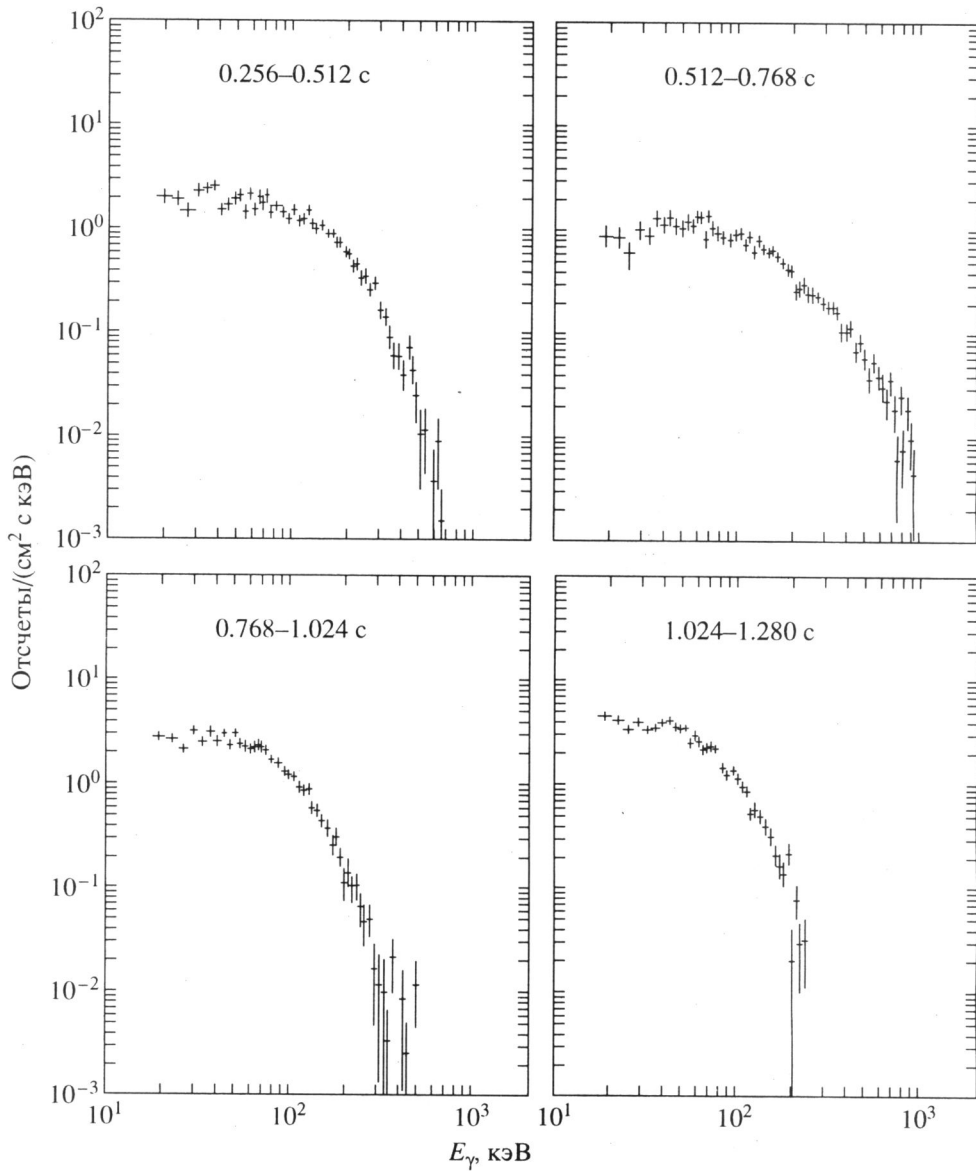


Рис. 5. Спектры потерь энергии для интервала $T - T_0 = 0.256 - 1.280$ с – результат сильнейшего искажения входных фотонных спектров вследствие наложения импульсов. Очевидно, что входной спектр на интервале $T - T_0 = 0.512 - 0.768$ с существенно более жесткий.

ще всего использовалась форма спектра теплового тормозного излучения. Рассматривались также степенные спектры и спектры в модели Банда и др. (1993).

Реконструированная по такой процедуре первая секунда временной истории вспышки показана на рис. 6. Здесь же представлен ход изменений величины kT . Из рисунка следует, что спад начального импульса происходит не монотонно. Плавность экспоненциального заднего фронта ($\tau \sim 35$ мс) нарушается вспышками интенсивности. Спектр излучения меняется очень резко. В самом начале импульса ($T - T_0 = 0 - 4$ мс) $kT \sim 300$ кэВ.

На спаде импульса излучение оказывается очень мягким $kT \sim 20$ кэВ. К моменту $T - T_0 \sim 350$ мс интенсивность излучения снижается до $\sim 5 \times 10^5$ фотонов/с, величина kT остается низкой (~ 20 кэВ). Затем интенсивность начинает вновь расти и к моменту $T - T_0 = 550$ мс увеличивается на порядок. Температура возрастает до 250 кэВ. И наконец, очередной спад интенсивности приводит к затянутому затухающему “хвосту”. Штриховой линией в области вершины начального импульса отмечен нижний предел интенсивности, соответствующий насыщению прибора. Очевидно, что реально интенсивность излучения в начальном импульсе значительно выше этого предела, возможно во

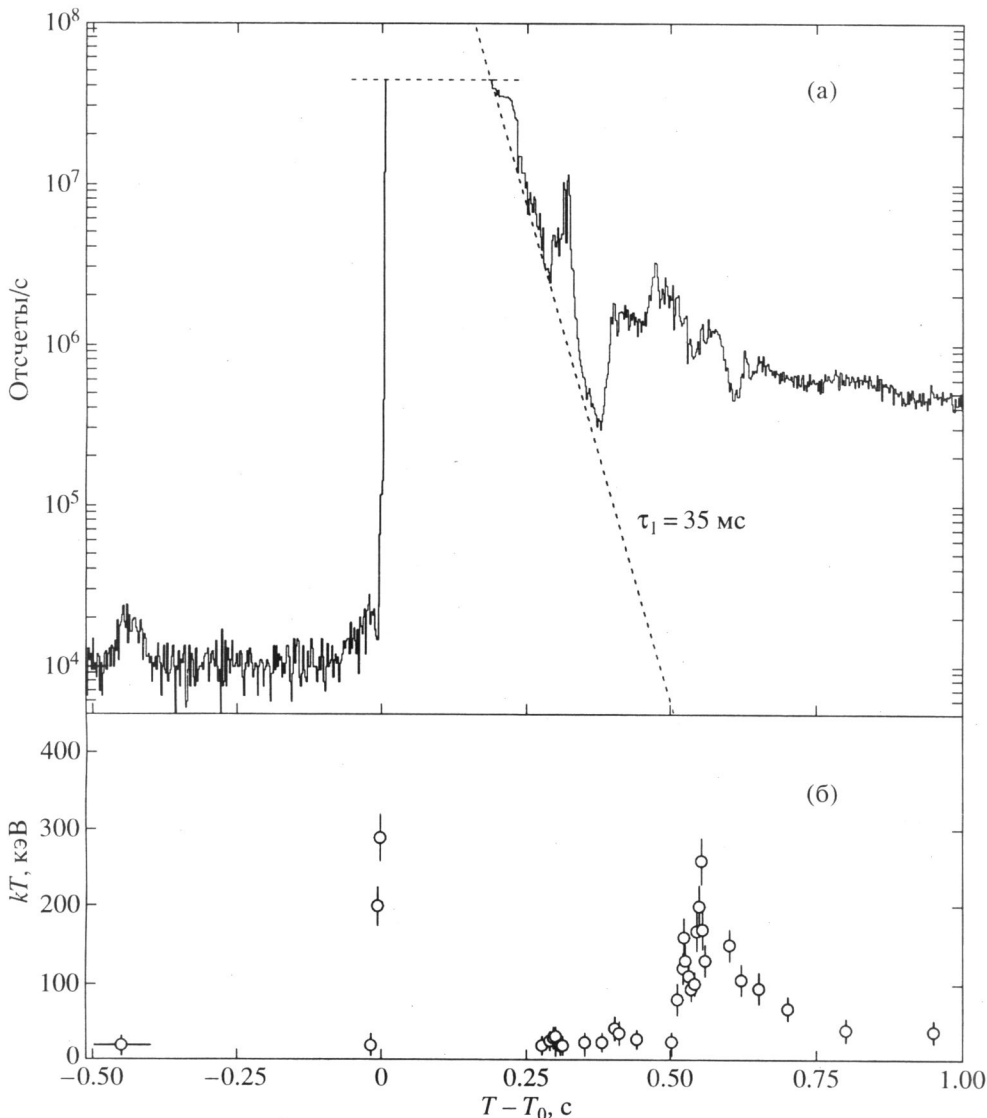


Рис. 6. Восстановленная временная история для первой секунды вспышки: (а) – интенсивность излучения с $E_\gamma > 15$ кэВ, (б) – расчетные значения параметра kT . Горизонтальная штриховая линия – нижний предел интенсивности, вызывающей полную перегрузку. Наклонная штриховая линия – зависимость $\exp(-t/\tau)$ для $\tau_1 = 35$ мс.

много раз. Начальный импульс, по-видимому, заканчивается к моменту $T - T_0 \sim 300$ мс. Новое почти десятикратное увеличение интенсивности и, главное, резкое возрастание жесткости излучения указывают на то, что здесь начинают проявляться новые стороны процесса вспышки, и, возможно, новые дополнительные источники энергии.

Таким образом, первая секунда временной истории вспышки оказывается очень сложной. Необходимо заметить, что при наблюдении вспышки 27 августа на космических аппаратах Ulysses (Орли и др., 1999а) и ВерроSAX (Фероси и др., 1999) информация о начальной фазе вспышки была фактически утрачена.

Переходная область $T - T_0 = 1-35$ с и последующие пульсации

На этом временном интервале (рис. 7) интенсивность медленно снижается. Монотонность спада нарушается сильными вариациями, в которых прослеживается периодичность $P = 5.16$ с. Наблюдаемый уровень скорости счета не представляет затруднений для введения поправок на мертвое время. На рис. 7 показан также ход отношения скоростей счета в двух энергетических окнах, характеризующих жесткость спектра. Пример спектров, полученных в начале и в конце интервала, приведен на рис. 8.

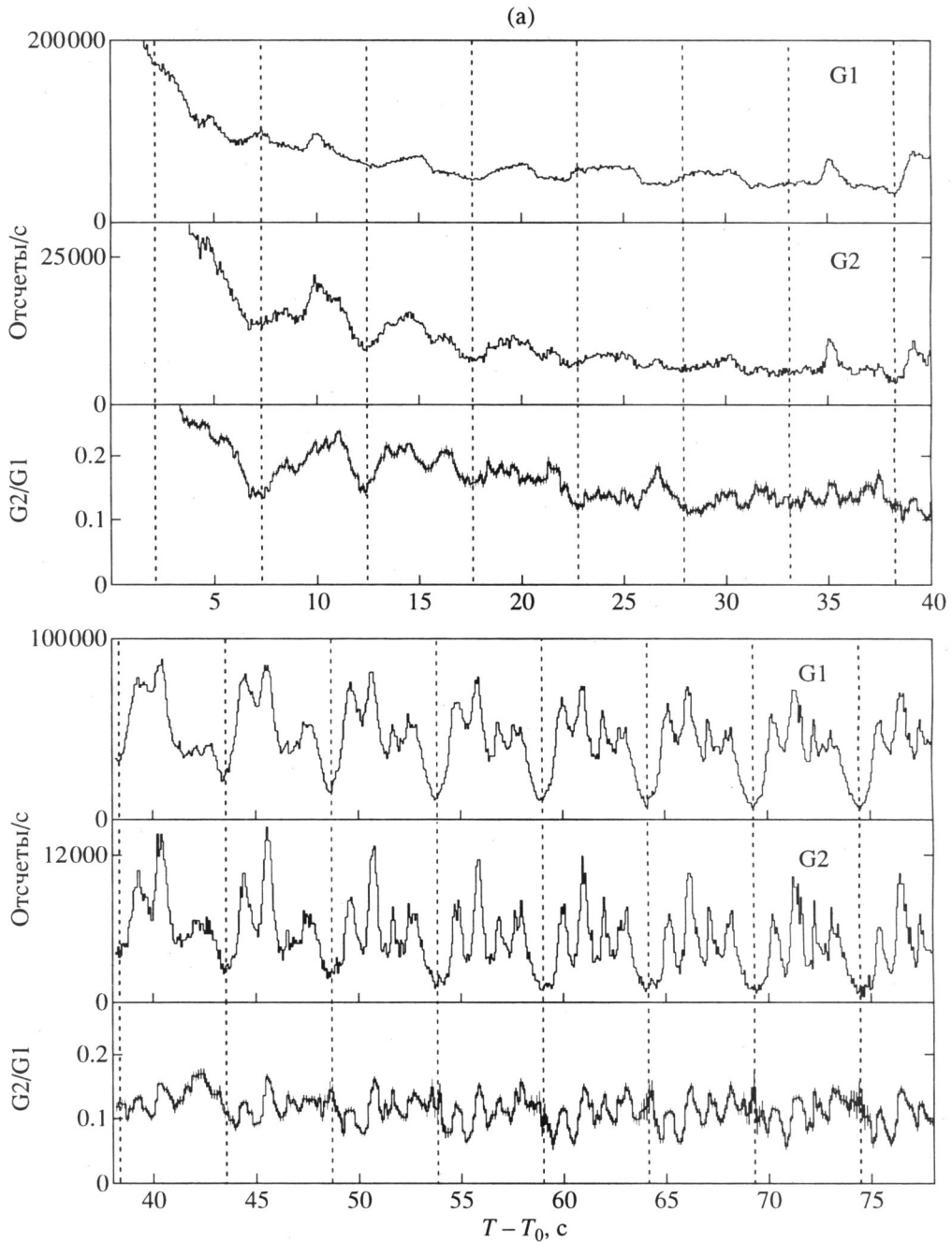


Рис. 7. Временной профиль пульсирующего “хвоста” вспышки в интервалах $T - T_0$: (а) – 0–80 с; (б) – 76–154 с; (в) – 152–230 с. Период 5.16 с отмечен вертикальными штриховыми линиями.

С момента $T - T_0 = 35$ с строгая периодичность излучения начинает проявляться все более отчетливо (рис. 7). Амплитуда пульсаций сильно увеличивается. Картина пульсаций не остается стабильной. В начале этой области на периоде $P = 5.16$ с четко выделяются четыре отдельных пика. Постепенно относительные амплитуды этих пиков понижаются. К концу наблюдений они становятся мало заметны, но сохраняется модуляция на ос-

новной частоте. Поведение кривой жесткости также весьма сложно. В среднем по периоду жесткость излучения практически не изменяется. Это подтверждается и измерениями спектров (рис. 8), которые дают близкие значения $kT = 23 \pm 3$ кэВ, но пульсации сопровождаются мелкошабными вариациями жесткости. В первые 100 секунд вспышки жесткость коррелирует с интенсивностью отдельных пиков, ближе к концу

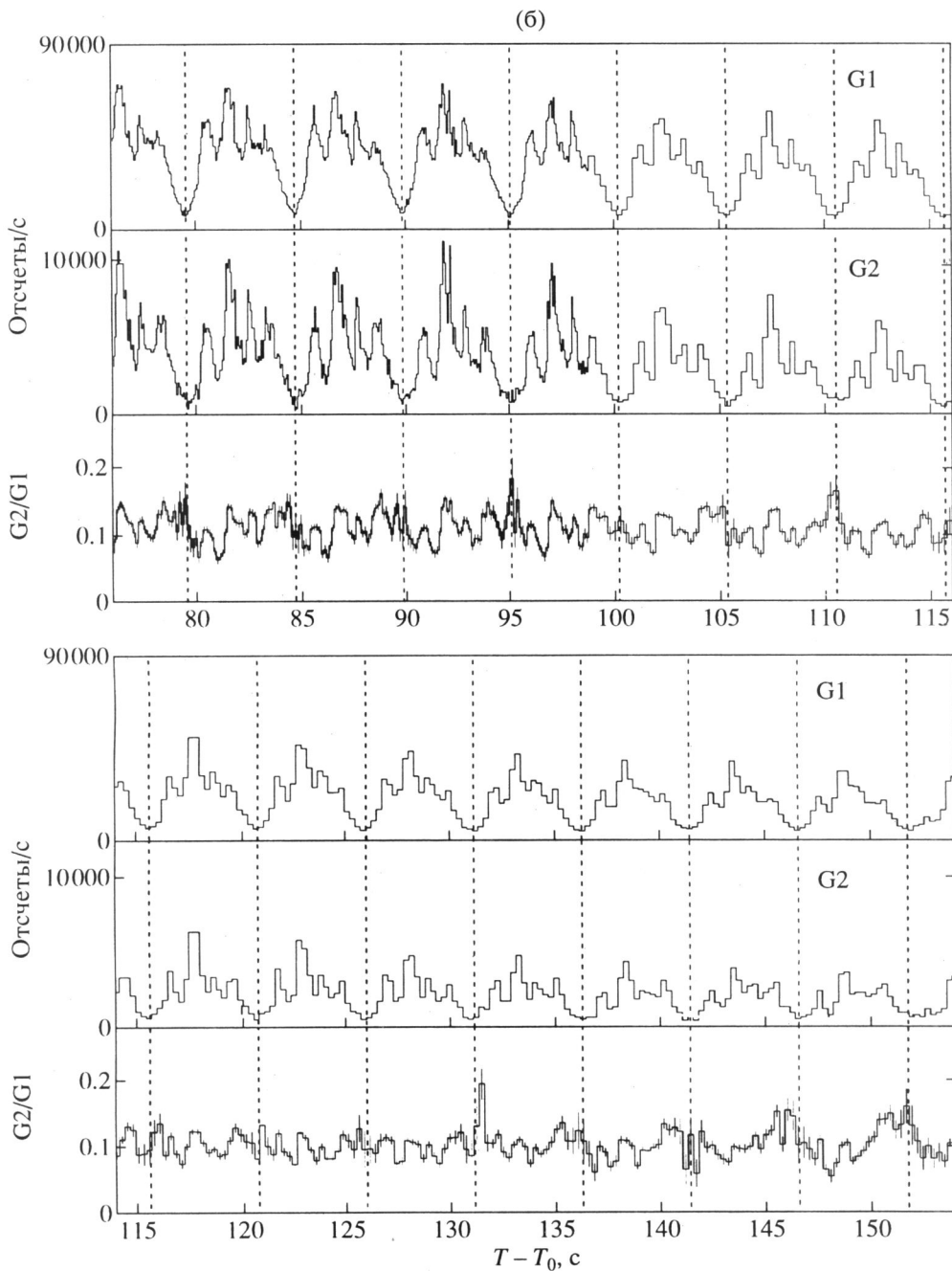


Рис. 7. Продолжение.

вспышки ситуация меняется на противоположную. Для компоненты излучения, промодулированного основной частотой 0.194 Гц, максимальная жесткость наблюдается в минимумах интенсивности.

ОБСУЖДЕНИЕ

Две гигантские вспышки, наблюдавшиеся 5 марта 1979 г. в SGR 0526–66 и 27 августа 1998 г.

в SGR 1900+14, обнаруживают глубокое сходство. Совместное рассмотрение этих событий представляет значительный интерес. Поэтому для удобства читателя на рис. 9 представлен профиль всплеска 5 марта 1979 г. по данным наблюдений на станциях Венера-11 и Венера-12, а на рис. 10 показана временная история события 27 августа 1998 г. Каждое событие состоит из короткого, гигантского по интенсивности импульса, по завершению которого формируется экспоненциально

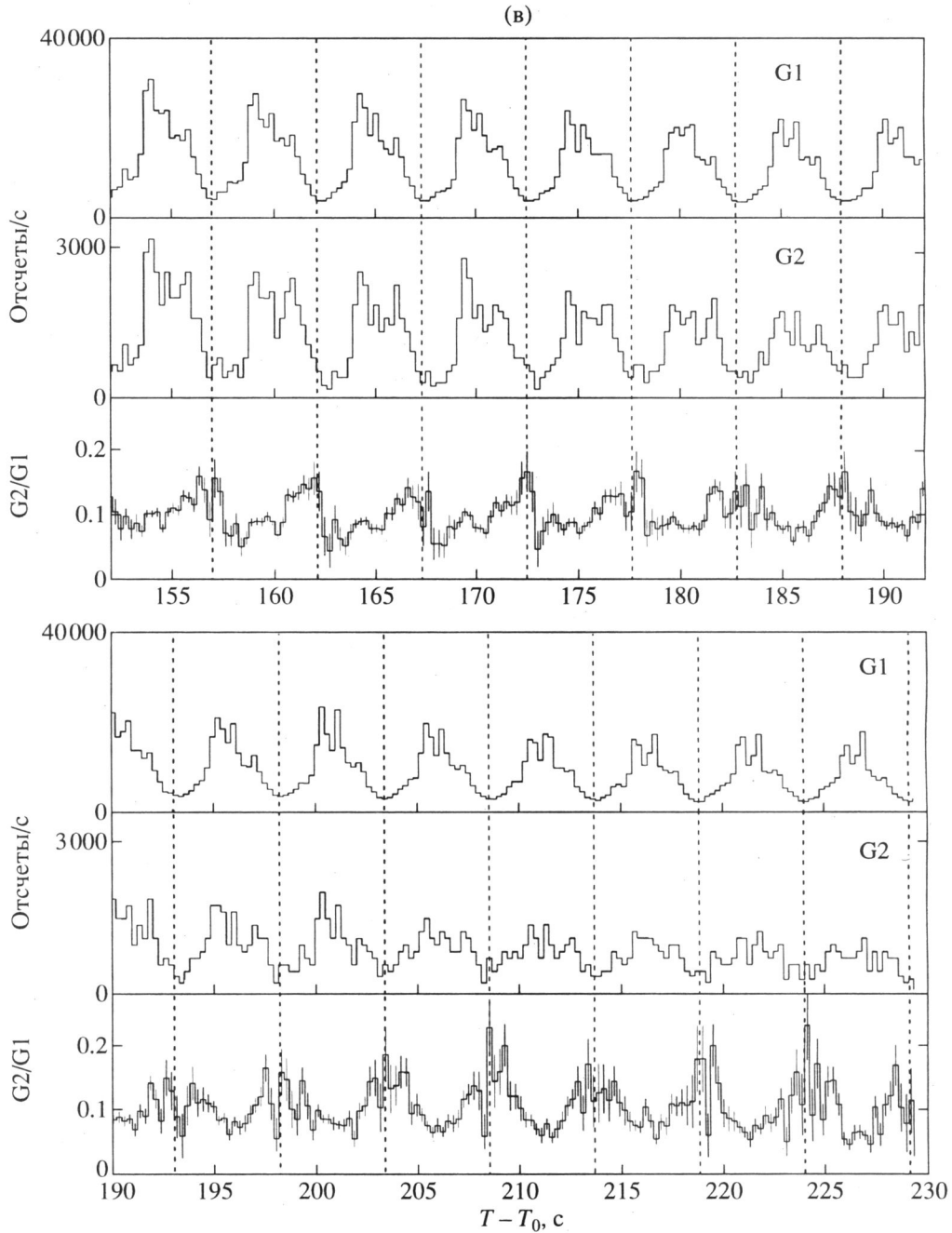


Рис. 7. Окончание.

спадающий “хвост” излучения. На “хвосте”, в свою очередь, появляются и быстро развиваются строго периодические пульсации. Непосредственно после начального импульса наблюдается возрастание интенсивности в виде одиночной волны, которая по фазе выпадает из последовательности периодических пульсаций. На гребне волны проявляются быстрые нерегулярные осцилляции. В обоих случаях продолжительность начального импульса составляет ~ 0.25 с. Основ-

ной подъем интенсивности происходит за малое время ~ 2 мс. Но в событии 27 августа помимо слабого предшественика в самом начале импульса наблюдается медленный подъем интенсивности длительностью 80 мс, который переходит в резкий передний фронт. Если подобные детали и имели место в событии 5 марта, то они оказались ниже порога обнаружения. Из рис. 9 видно, что в событии 5 марта резкий вначале фронт сменяется более замедленным подъемом

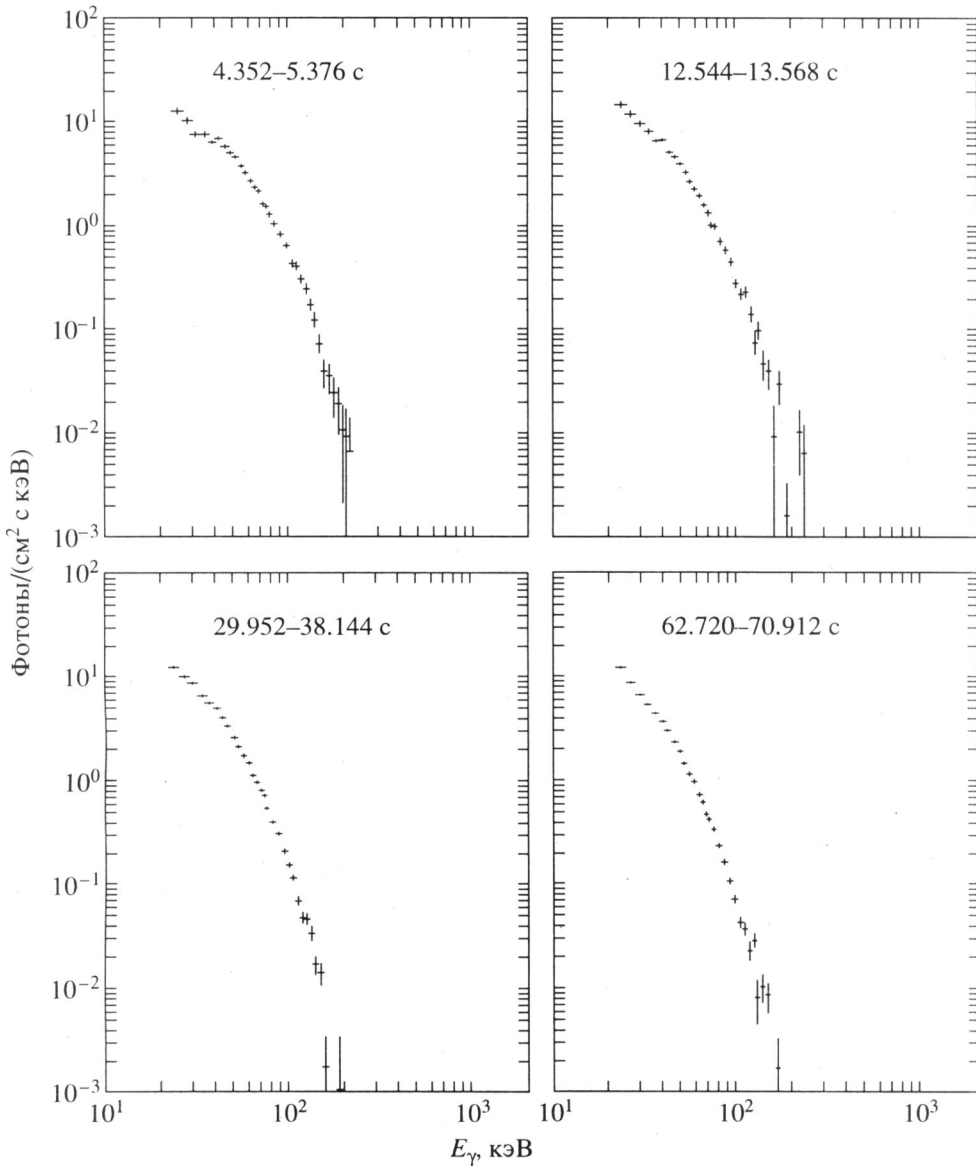


Рис. 8. Энергетические спектры пульсирующей стадии вспышки.

интенсивности. Соответственно, максимум в импульсе достигается за 50–100 мс. Можно полагать, что и начальный импульс 27 августа нарастал с замедлением фронта, если судить по кратковременному появлению отсчетов на интервале $T - T_0 = 30-40$ мс (рис. 2), которое, напомним, возможно при незначительном превышении интенсивности над уровнем насыщения.

В обоих событиях спад начального импульса близок к экспоненциальному с постоянной времени ~ 40 мс. Дополнительный подъем в профиле интенсивности после начального импульса наблюдается также в каждом событии. Четкая повторяющаяся картина периодических пульсаций в SGR 1900+14, в отличие от SGR 0526–66, уста-

навливается не сразу, а через 35–40 с. Но и на этом интервале в спектре мощности имеется четкий пик на частоте 0.194 Гц.

Пульсирующие “хвосты” в обоих событиях затухают с близкими по величине постоянными времени 80–100 с. В поведении энергетических спектров также прослеживается значительное сходство. Для SGR 0526–66 в спектре начального импульса присутствует жесткая компонента с эмиссионной особенностью вблизи 400 кэВ (Мазец и др., 1979а). Спектр пульсаций мягкий, подобен спектрам последующих всплесков, $kT = 30-35$ кэВ. В событии 27 августа вследствие огромной интенсивности начального импульса не удалось получить точных спектральных данных. Но достаточ-

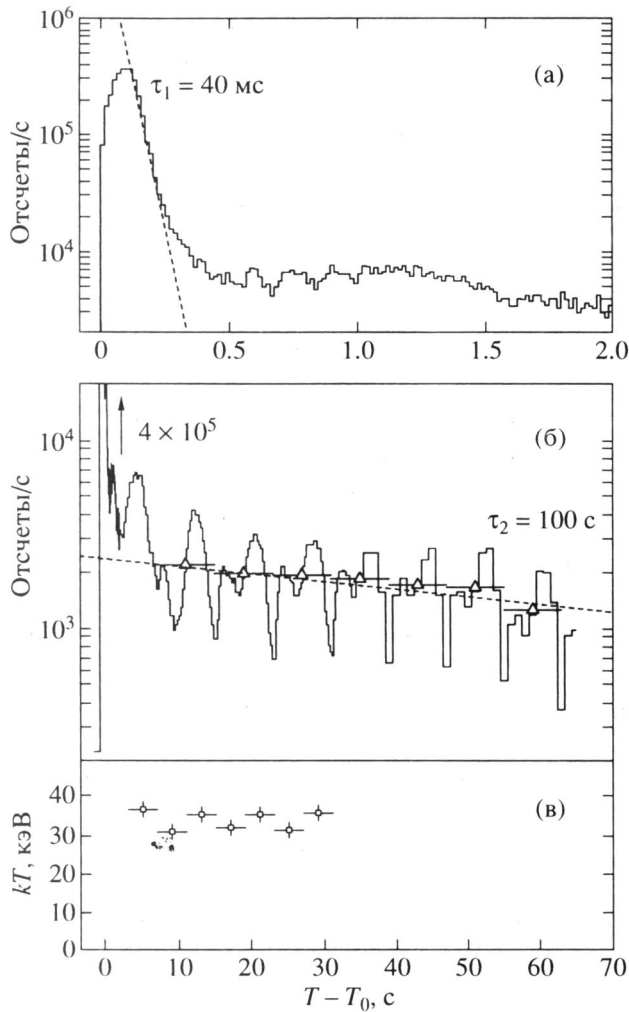


Рис. 9. Временные и энергетические характеристики события 5 марта 1979 г. (а) – начальная фаза всплеска. Наклонная линия – зависимость $\exp(-t/\tau)$ для $\tau_1 = 40$ мс. (б) – пульсирующий “хвост” всплески. Усредненные по периоду $P = 8$ с значения скоростей счета показаны горизонтальными отрезками с треугольниками. Наклонная штриховая линия – зависимость $\exp(-t/\tau)$ для $\tau_2 = 100$ с. (в) – измеренные значения спектрального параметра kT .

но надежно установлено, что в самом начале импульса спектр весьма жесткий ($kT \sim 300$ кэВ), а на спаде импульса ниже предела насыщения спектр становится очень мягким ($kT \sim 20$ кэВ). Возможно, что подобная быстрая эволюция спектра за время развития и спада начального импульса имела место и в событии 5 марта, и именно с быстрой спектральной переменностью связано наличие жесткой и мягкой компонент в результирующем спектре.

В этой связи необходимо заметить, что спектр начального импульса события 5 марта, полученный на станциях Венера-11 и Венера-12 (Мазец и др., 1979а), был подвергнут сомнению Фенимо-

ром и др. (1996). К сожалению, эти авторы в своем рассмотрении исходили из неверного предположения о том, что мертвое время при измерениях многоканального спектра составляло ~ 1 мс и что, соответственно, число накопленных отсчетов за интервал длительностью ~ 200 мс было слишком мало, не более 200 на весь спектр. В действительности, значение 1 мс характеризовало мертвое время при независимом накоплении числа отсчетов в каждом из 16 амплитудных каналов спектрометра в отдельности, что дает возможность достаточно полноценных спектральных измерений.

В событии 27 августа новое сильное повышение интенсивности, сопровождаемое резким увеличением и спадом жесткости спектров, наступило в виде одиночной волны к моменту $T = T_0 + 0.5$ с. В дальнейшем спектральные вариации стали, как и в событии 5 марта, весьма умеренными при сохранении постоянным среднего значения $kT \approx 25$ кэВ, типичного и для повторных всплесков в SGR 1900+14.

В совокупности, полученные сведения о двух сверхмощных вспышках не противоречат предположениям о том, что процессы испускания узкого начального импульса и затянутого пульсирующего “хвоста” разнесены в источнике не только во времени, но и в пространстве, как это и предусматривается моделью Томпсона и Дункана (1995).

Характеристики двух вспышек сведены в табл. 1, оценки энергетики вспышек приведены в табл. 2. Очевидное сходство вспышек подчеркивает глубокое подобие процессов их генерации.

Из рассмотренных данных следует, что взрывное выделение такой огромной даже для нейтронной звезды энергии не привело к заметным изменениям характеристик SGR 1900+14. Мы уже отмечали, что практически сохранились свойства повторных всплесков (Мазец и др., 1999). Не произошло и существенных изменений периода вращения нейтронной звезды, которые могли бы быть связаны со вспышкой (Коувелиоту и др., 1999). Изменения претерпела форма профиля 5.16-секундных пульсаций в слабом постоянно действующем потоке рентгеновского излучения. Так, структурные многопиковые пульсации, наблюдавшиеся в мае 1998 г., сменились, по наблюдениям 28 августа 1998 г., однопиковым профилем (Коувелиоту и др., 1999). Возможно, что эта смена произошла достаточно быстро, непосредственно во время пульсирующей стадии вспышки (см. рис. 7).

Регистрация в течение 20 лет двух гигантских вспышек в разных источниках с несомненностью означает, что такие вспышки должны быть повторяющимися событиями. Неоднократно указывалось (Коувелиоту и др., 1994; Норрис и др., 1991; Орли и др., 1994), что число нейтронных

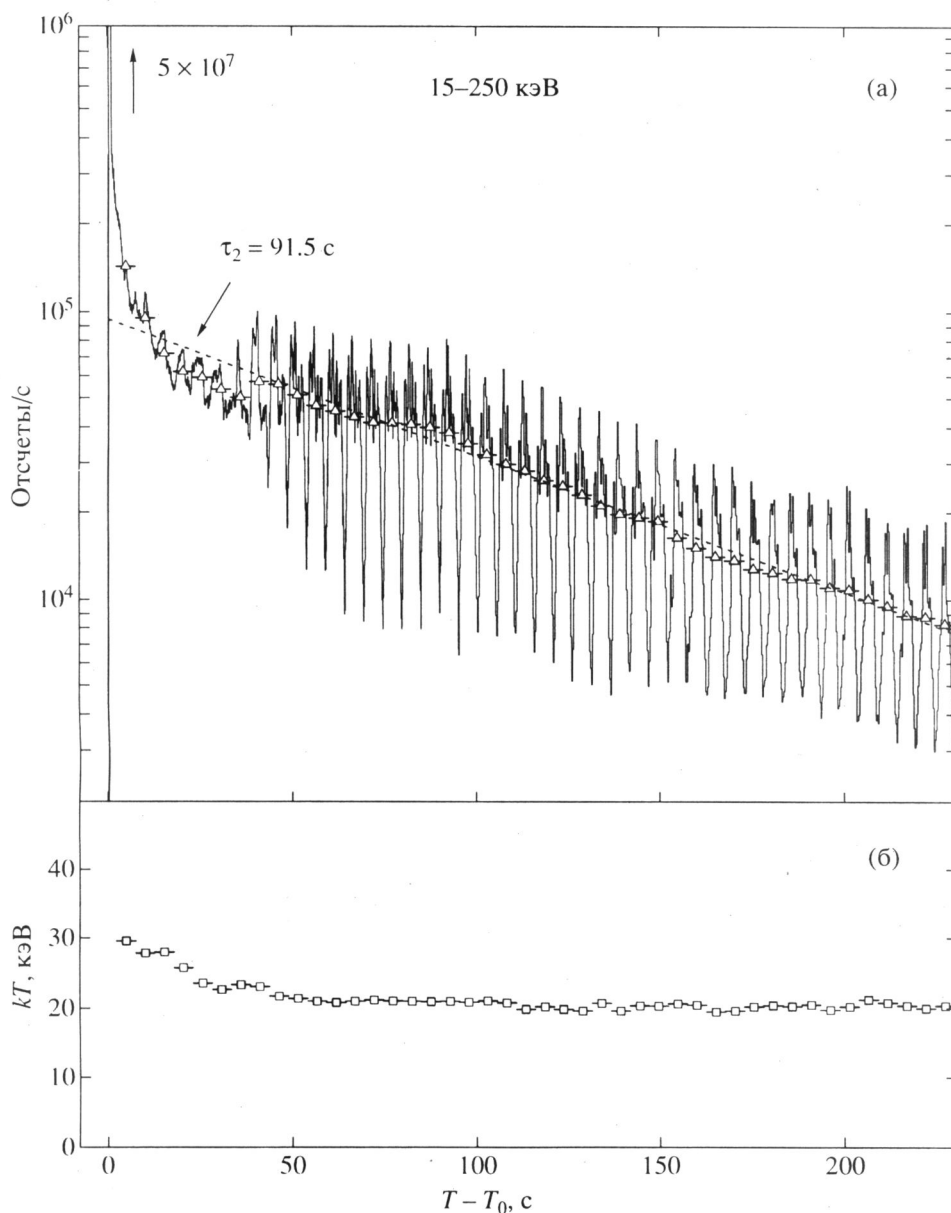


Рис. 10. Временные и энергетические характеристики события 27 августа 1998 г. (а) – временной профиль вспышки в интервале энергии 15–250 кэВ. Усредненные по периоду $P = 5.16$ с значения скоростей счета показаны горизонтальными отрезками. Наклонная штриховая линия – зависимость $\exp(-t/\tau)$ для $\tau_2 = 91.5$ с. (б) – усредненные по периоду $P = 5.16$ с значения спектрального параметра kT .

звезд N в галактиках Местной группы, одновременно находящихся в стадии SGR, должно быть мало ~ 7 . Соответственно, не велик должен быть средний интервал времени между гигантскими вспышками в одном репитере τ . Весьма приближенные оценки методом максимального правдоподобия дают при наблюдении k вспышек за t лет из N источников

$$\tau \sim Nt/k \sim 50\text{--}100 \text{ лет.}$$

Следует заметить, что чувствительность современных детекторов всплесков вполне достаточна для наблюдения начальных импульсов ги-

гантских вспышек из SGR, находящихся в галактиках Местной группы, в первую очередь в Туманности Андромеды. При расстоянии до таких источников ~ 700 кпк вспышки должны иметь вид коротких (с длительностью около ~ 0.2 с) всплесков с интенсивностью около $\sim 10^{-6}$ эрг/см². Частота их появления составит, по-видимому, значение порядка одного события в десятилетие. При определенной доле везения такие вспышки могут быть зарегистрированы и локализованы.

Нейтронная звезда, находящаяся в стадии активного мягкого гамма-репитера, расходует энергию на поддержание излучения мягкого рентгеновского

Таблица 1. Сравнительные характеристики гигантских вспышек в SGR 1900+14 и в SGR 0526-66

	SGR 1900+14, $E_\gamma > 15$ кэВ	SGR 0526-66, $E_\gamma > 30$ кэВ
Гигантская вспышка	27 августа 1998 г.	5 марта 1979 г.
Предшественник	$T-T_0 = -0.45$ с, $kT \sim 20$ кэВ	?
Начальный импульс		
Длительность, с	~ 0.35	~ 0.25
Время крутого нарастания, мс	< 4	< 2
Экспоненциальный спад, τ_1 , мс	~ 35	~ 40
Максимальный поток F , эрг/см ² с	$> 3.1 \times 10^{-2}$	1×10^{-3}
Интегральный поток S , эрг/см ²	$> 5.5 \times 10^{-3}$	4.5×10^{-4}
Параметр спектра kT , кэВ, эволюция	300-20	~ 500
Одиночная волна		
Интервал $T-T_0$, с	$\sim 0.35-0.8$	$\sim 0.25-1.5$
Осцилляции, квазипериод P , с	~ 0.08	~ 0.15
Максимальный поток F , эрг/см ² с	$\sim 1.5 \times 10^{-3}$	$\sim 3 \times 10^{-5}$
Интегральный поток S , эрг/см ²	$\sim 3 \times 10^{-4}$	$\sim 4 \times 10^{-5}$
Параметр спектра kT , кэВ, эволюция	20-250	~ 30
“Хвост”		
Экспоненциальный спад, τ_2 , с	~ 90	~ 100
Период пульсаций P , с	5.16	8.0
Интегральный поток S , эрг/см ²	4.2×10^{-3}	1×10^{-3}
Параметр спектра kT , кэВ	~ 20	~ 30
Повторные всплески		
Наблюдение	Май 1998 г.–Январь 1999 г.	Март 1979 г.–апрель 1983 г.
Длительность, с	$\sim 0.1-4$	$\sim 0.1-9$
Максимальный поток F , эрг/см ² с	$2 \times 10^{-6}-3 \times 10^{-5}$	$1 \times 10^{-6}-7 \times 10^{-6}$
Интегральный поток S , эрг/см ²	$2 \times 10^{-7}-5 \times 10^{-5}$	$1.5 \times 10^{-7}-2 \times 10^{-5}$
Параметр спектра kT , кэВ	20-30	30-35

Таблица 2. Светимость и выход энергии в SGR 1900+14 и SGR 0526-66

Расстояние	10 кпк (Кейс, Бхатачари, 1998)	55 кпк
Гигантская вспышка	27 августа 1998	5 марта 1979
Начальный импульс		
Выход энергии Q , эрг	$> 6.8 \times 10^{43}$	1.6×10^{44}
Максимальная светимость L , эрг/с	$> 3.7 \times 10^{44}$	3.6×10^{44}
“Хвост”		
Выход энергии Q , эрг	5.2×10^{43}	3.6×10^{44}
Полный выход энергии Q, эрг	$> 1.2 \times 10^{44}$	5.2×10^{44}
Повторные всплески		
Наблюдение	Май 1998 г.–Январь 1999 г.	Март 1979 г.–апрель 1983 г.
Выход энергии Q , эрг	$2 \times 10^{39}-6 \times 10^{41}$	$5 \times 10^{40}-7 \times 10^{42}$
Максимальная светимость L , эрг/с	$2 \times 10^{40}-4 \times 10^{41}$	$3 \times 10^{41}-3 \times 10^{42}$
Рентгеновский источник		
Светимость L , эрг/с	$\sim 10^{36}$ (Коувелиотоу и др., 1999) $\sim 10^{35}$ (Орли и др., 1999б)	$\sim 10^{35}$ (Ротчайлд, Кулкарни, Лингенфелтер, 1994)

источника, гигантских вспышек и более слабых повторных всплесков. Для поддержания такой активности на протяжении $\sim 10^4$ лет начальный ресурс энергии источника должен составлять не менее 10^{47} эрг.

Авторы благодарны Г.М. Городинскому, А.А. Колчину и В.В. Лебедеву за помощь в проведении лабораторных калибровок аппаратуры.

Работа поддержана контрактом Российского космического агентства и грантом Российского фонда фундаментальных исследований № 99-02-17031.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аптекарь и др.* (Aptekar R.L., Frederiks D.D., Golenetskii S.V., Il'inskii V.N., Mazets E.P., Panov V.N., Sokolova Z.Ya., Terekhov M.M., Sheshin L.O., Cline T.L., Stilwell D.E.) // Space Sci. Rev., 1995, v. 71, p. 265.
- Банд и др.* (Band D., Matteson J., Ford L., Schaefer B., Palmer D., Teegarden B., Cline T., Briggs M., Paciesas W., Pendleton G., Fishman G., Kouveliotou C., Meegan C., Wilson R.) // Astrophys. J., 1993, v. 413, p. 281.
- Голенецкий и др.* (Golenetskii S.V., Il'inskii V.N., Mazets E.P.) // Nature, 1984, v. 307, p. 41.
- Кейс, Бхаттачари* (Case G.L., Bhattacharya D.) // Astrophys. J., 1998, v. 504, p. 761.
- Клайн и др.* (Cline T.L., Mazets E.P., Golenetskii S.V.) // IAU Circ., 1998, № 7002.
- Коички и др.* (Koićki S., Koićki A., Ajdačić V.) // Nucl. Instrum. Meth., 1973, v. 108, p. 297.
- Кouveliotou и др.* (Kouveliotou C., Fishman G.J., Meegan C.A., Paciesas W.S., van Paradijs J., Norris J.P., Prece R.D., Briggs M.S., Horack J.M., Pendelton G.N., Green D.A.) // Nature, 1994, v. 368, p. 125.
- Кouveliotou и др.* (Kouveliotou C., Strohmayer T., Hurley K., van Paradijs J., Finger M., Dieters S., Woods P., Thompson C., Duncan R.C.) // Astrophys. J. Lett., 1999, v. 510, L115.
- Мазец и др.* (Mazets E.P., Golenetskii S.V., Il'inskii V.N., Aptekar R.L., Guryan Yu.A.) // Nature, 1979a, v. 282, p. 587.
- Мазец и др.* (Мазец Е.Р., Голенецкий С.В., Гурьян Ю.А.) // Письма в Астрон. журн., 1979б, т. 5, с. 64.
- Мазец и др.* (Mazets E.P., Golenetskii S.V., Guryan Yu.A., Il'inskii V.N.) // Astrophys. Space Sci., 1982, v. 84, p. 173.
- Мазец и др.* (Мазец Е.П., Клайн Т.Л., Аптекарь Р.Л., Баттерворт П.С., Голенецкий С.В., Ильинский В.Н., Пальшин В.Д., Фредерикс Д.Д.) // Письма в Астрон. журн., 1999, т. 25, с. 727.
- Норрис и др.* (Norris J.P., Hertz P., Wood K.S.) // Astrophys. J., 1991, v. 366, p. 240.
- Орли и др.* (Hurley K., Atteia J.-L., Jourdain E., Barat S., Niel M., Vedrenne G., Sunyaev R., Kuznetsov A., Terekhov O.) // Astrophys. J., 1994, v. 432, p. 709.
- Орли и др.* (Hurley K., Cline T., Mazets E., Barthelmy S., Butterworth P., Marshall F., Palmer D., Aptekar R., Golenetskii S., Il'inskii V., Frederiks D., Mctiernan J., Gold R., Trombka J.) // Nature, 1999a, v. 397, p. 41.
- Орли и др.* (Hurley K., Li P., Kouveliotou C., Murakami T., Ando M., Strohmayer T., van Paradijs J., Vrba F., Luginbuhl C., Yoshida A., Smith I.) // Astrophys. J., 1999б, v. 510, L111.
- Ротчайлд и др.* (Rothschild R., Kulkarni S., Lingentfelter R.) // Nature, 1994, v. 368, p. 432.
- Томпсон, Дункан* (Thompson C., Duncan R.C.) // MNRAS, 1995, v. 275, p. 255.
- Фенимор и др.* (Fenimore E.E., Klebesadel R.W., Laros J.G.) // Astrophys. J., 1996, v. 460, p. 964.
- Фероси и др.* (Feroci M., Frontera F., Costa E., Amati L., Tavani M., Rapisarda M., Orlandini M.) // Astrophys. J. Lett., 1999, v. 515, L9.